

(2.1\*)

*Doc. dr. sc. Boris Ljubenković, dipl. ing., Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb*  
*Dipl. ing. Mladen Mihailović, Lošinjska plovidba – brodogradilište, Lošinjskih*  
*brodograditelja bb, Mali Lošinj*  
*Prof. dr. sc. Želimir Sladoljev, dipl. ing., Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb*  
*Prof. dr. sc. Tomislav Zaplatić, dipl. ing., Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb*  
*Prof. dr. sc. Kalman Žiha, dipl. ing., Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb*

## KONCEPTUALNI PROJEKT BRODOGRADILIŠTA NA DUNAVU

### Sažetak

U članku je prezentiran konceptualni projekt fleksibilnog montažnog brodogradilišta na Dunavu. Uvodno su razmatrane značajke i ograničenja plovnih putova u Europi i Hrvatskoj te su dane procjene razvoja prometa u unutrašnjoj plovidbi. Nadalje, prikazani su karakteristični riječni i manji morski brodovi koji bi se mogli uključiti u proizvodni program brodogradilišta. Analizirani su industrijski kapaciteti firmi u regiji s kojima bi brodogradilište moglo surađivati, a prema tome je definiran osnovni koncept prevladavajući montažnog brodogradilišta. Lokacija novog brodogradilišta definirana je prema konfiguraciji terena te obzirom na socijalno industrijske značajke područja regije. Predloženi konceptualni projekt brodogradilišta na Dunavu sadrži tlocrt, raspored radnih prostora, tokove materijala te princip predaje broda vodi.

*Ključne riječi: unutrašnja plovidba, montažno brodogradilište, Dunav*

## CONCEPTUAL DESIGN OF SHIPYARD ON THE RIVER DANUBE

### Summary

This paper presents a conceptual design of a shipyard on river Danube. The introductory notes considered the inland navigation routes in Europe and in Croatia as well as the assessments of developments in inland navigation. Furthermore, the characteristic types of ships that could be included in the production plan of the shipyard. The industrial capacities of regional companies of potential for cooperation in shipbuilding are analyzed in order to define the basic concept of a prevailing assembly yard. The location of the shipyard has been investigated with respect to social and industrial characteristics in the region. The conceptual design proposal in the paper brings forward the shipyard layout, arrangement of working areas, material flows and launching procedures.

*Key words: inland navigation, assembly yard, Danube*

## 1. Uvod

Promet na unutrašnjim vodama odvija se na rijekama, umjetno prokopanim kanalima i jezerima, a ubraja se u najstarije i najjeftinije vrste prijevoza. Rijeke i jezera su bili prvi komunikacijski putovi, a njima se mogu prevesti velike količine roba jeftinije nego kopnenim putem. Razvojem kopnenog transporta, promet unutrašnjim vodama je u jednom periodu gubio na značaju, ali se u novije vrijeme ponovo vraća u prvi plan. Nastojanja Europske Unije idu prema sve većem korištenju unutrašnje plovidbe u odnosu na cestovni i željeznički promet. Osim prijevoza roba u sve većem zamahu je i razvoj turizma na unutrašnjim vodama. Širina plovnih putova rijeka Dunava, Majne i Rajne te dobra povezanost europskih metropola omogućuju atraktivna krstarenja.

Glavni ciljevi strategije razvoja unutrašnje plovidbe u Hrvatskoj su:

- usklađivanje s uputama Europske Unije o razvoju transporta roba unutrašnjim vodama
- uključivanje u europsku mrežu transporta unutrašnjim vodama
- povećanje udjela prijevoza roba unutrašnjom plovidbom
- održavanje plovnih putova u skladu s njihovom kategorijom i obnavljanje riječne flote.

Obzirom na ciljeve strategije razvoja riječnog prometa u Republici Hrvatskoj i očekivano veći broj turista nužno je obnavljanje luka, osuvremenjavanje brodova i poboljšanje plovnih putova. Procjenjuje se da bi se na obale domaćih rijeka moglo privući godišnje i do 100000 turista. U prilog tome ide obnavljanje pristaništa u Osijeku, Aljmašu, Batini, a u planu su obnavljanja pristaništa u drugim mjestima.

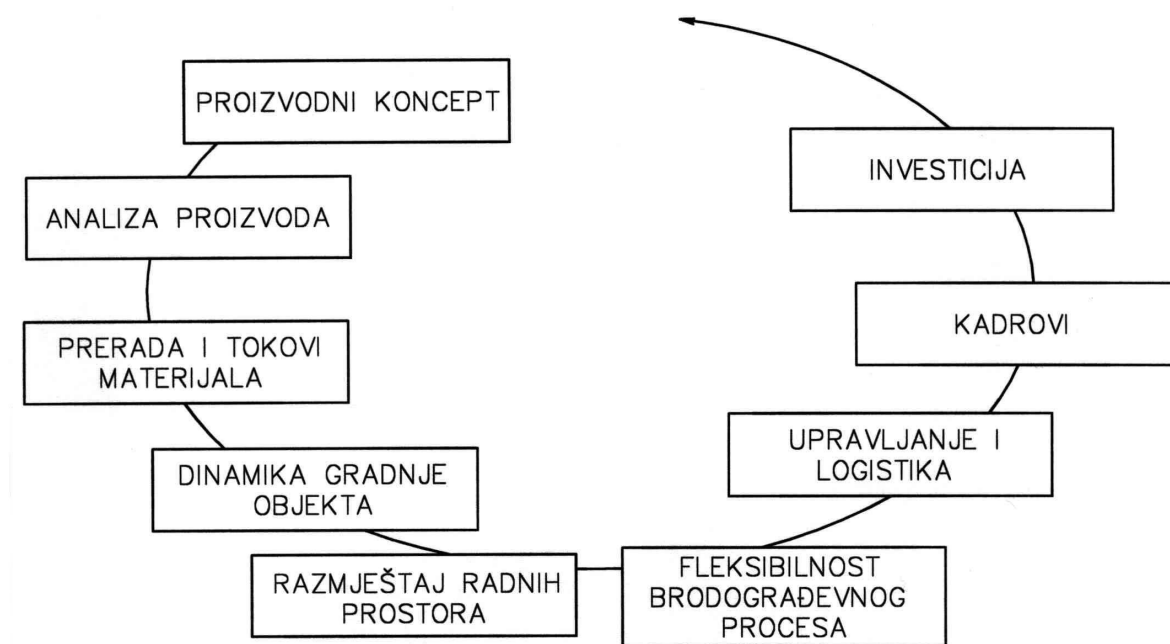
U Hrvatskoj se samo 1.5% roba preveze rijekama, pa je nužno povećanje udjela transporta roba rijekama što će rezultirati većom potrebom plovidbe unutrašnjim vodama i većim brojem brodova. Kada se tome pridoda pomorska orijentacija zemlje, tradicija brodogradnje, stručnost radne snage i razvijeno školstvo nužno je osnivanje centra za gradnju i remont brodova što ujedno doprinosi razvoju industrijskih kapaciteta te mogućnost zapošljavanja većeg broj ljudi na područjima posebne državne skrbi.

## 2. Projektiranje brodograđevnog procesa

Projektiranje brodograđevnog procesa započinje određivanjem dugoročnih ciljeva, koji ovise o potrebama brodograđevnog tržišta. Brodograđevno tržište je nestalno i ne osigurava stabilnu potražnju brodskog prostora, te je podložno cikličkim promjenama 1. Uzroci cikličkih promjena mogu biti vezani za:

- društvene ili ekonomske promjene, a odnose se na stanje u zemljama kao što je njihovo političko uređenje, zakoni, eventualni sukobi i
- razvoj postupaka i načina prijevoza roba i putnika koji će rezultirati novostima u projektnim rješenjima brodova.

Projektiranje brodograđevnog procesa je iterativni postupak sastavljen od elemenata prikazanih slikom 1. Svaki element projekta ima zahtjeve i ograničenja, a njihova međuzavisnost je složena, pa se konačno rješenje traži iteracijom u nekoliko koraka 2. U svakom slijedećem koraku iteracije elementi projekta imaju nova rješenja koja se reflektiraju na ostale elemente projekta. Konačni rezultat je kompromisno rješenje projekta brodograđevnog procesa u cjelini, pri čemu neće biti moguće postići najbolja rješenja pojedinačno za svaki element projekta.



Slika 1. Projektna spirala

Fig. 1 The design spiral

Elementi projekta su:

### Proizvodni koncept

Proizvodnim konceptom definira se građevno mjesto koje može biti ravno ili koso te način sastavljanja finalnog proizvoda jednom od metoda, a to su:

- metoda sastavljanja modula trupa,
- metoda sastavljanja blokova trupa ili
- metoda sastavljanja sekcija trupa.

Metode se razlikuju prema geometrijskim karakteristikama dijelova strukture koji se montiraju u trup broda. Modul je dio strukture koji obuhvaća finalni proizvod u njegovoj punoj širini i visini, ali u ograničenoj duljini. U metodi sastavljanja blokova trupa osnovni element sastavljanja trupa je blok, čija masa može biti i do 600 tona. Metoda sastavljanja sekcija trupa koristi se kod sastavljanja trupa na kosom građevnom mjestu, a osnovni element je sekcija.

### Analiza proizvoda

Analiza se radi prema proizvodnom konceptu, a uključuje upoznavanje s finalnim proizvodom, njegovim funkcioniranjem, strukturom i potrebnom opremom.

### Prerada i tokovi materijala

Proizvodni proces se definira kao intermitentni s obzirom na različite finalne proizvode koji se mogu istovremeno naći u proizvodnji. Karakteristika intermitentnog – isprekidanog procesa je veliki broj radnih operacija koje ne traju jednako. Radi toga su u procesu potrebna međuskладишта koja zahtijevaju prostor i češće korištenje transportnih sredstava.

Tokovi materijala kroz proces moraju biti pravolinijski i što kraći, a svakako treba izbjegavati povratne tokove i presijecanje drugih tokova ili linija proizvodnje.

### **Dinamika gradnje**

Dinamika gradnje se definira za očekivane objekte proizvodnog programa. Na osnovu podataka analize proizvoda slijedi proračun izrade osnovnih građevnih jedinica te sastavljanja objekta u svrhu određivanja opterećenja i kapaciteta radionica, strojeva i uređaja u svim fazama proizvodnog procesa. U fazi definiranja dinamike gradnje provjeravaju se različite varijante sastavljanja finalnog proizvoda kao i utjecaj različitih finalnih proizvoda na opterećenje svih faza proizvodnog procesa. Za fleksibilno brodogradilište to je važno, jer se može očekivati široki asortiman finalnih proizvoda.

### **Razmještaj radnih površina**

Proizvodnim konceptom se određuje građevno mjesto i metoda sastavljanja trupa što predstavlja osnovu za definiranje faza proizvodnog procesa te razmještaja radnih prostora i tokova materijala.

### **Upravljanje i logistika**

Upravljanje procesom je koordinacija svih sudionika u procesu. Za učinkovito upravljanje potrebno je definirati strukturu upravljanja, odgovornosti, razine odlučivanja, principe donošenja odluka, kontrolu, postupke i tehnike planiranja te informatičku podršku.

Brodograđevni proces se može podijeliti na pripremni i proizvodni. U pripremni proces spadaju aktivnosti prodaje, projektiranja, konstruiranja, tehnologije i nabave, a kvaliteta pripreme je osnova organiziranog proizvodnog procesa koji se odvija u pogonima brodogradilišta.

### **Kadrovi**

Brodogradnja je radom intenzivna industrija, radi čega su kadrovi važan element u ostvarenju projekta brodograđevnog procesa. Za svaku fazu proizvodnog procesa definiraju se potrebna zanimanja i broj ljudi. Potrebno je voditi brigu o stalnoj izobrazbi i usavršavanju kadrova kao i o uvjetima zapošljavanja novih ljudi, te kontaktima sa kooperacijom kada vlastiti kapaciteti nisu dovoljni.

### **Investicija**

Investicija obuhvaća definiranje svih stavki i procjenu troškova počevši od građevinskih radova, pa do potrebne opreme brodogradilišta.

Uz prikazane elemente projektne spirale, bitni elementi ovog projekta su analiza plovni putova, definiranje proizvodnog programa te ocjena industrijskih kapaciteta tvrtki u regiji.

#### **2.1. Plovni putovi u Hrvatskoj i u Europi**

Plovni put je pojas na unutrašnjim vodama određene dubine, širine i ostalih propisanih gabarita koji je uređen, obilježen i otvoren za sigurnu plovidbu. Definiran je plovni koritom i radijusom zavoja kod niskog plovnog vodostaja te visinom ispod mostova i zračnih kabela kod visokog plovnog vodostaja 4 .

Plovne putove klasificira Organizacija za unutrašnje Transporte Europske ekonomske komisije Ujedinjenih naroda prema veličini brodova koji njima mogu ploviti. Podjela je prikazana u tablici 1. Definirano je 6 klasa plovni putova prema nosivosti, duljini, širini i gazu brodova.

Prema trenutnoj situaciji, kako je prikazano slikom 2, u Hrvatskoj se definiraju 4 važna plovna puta, a to su:

- plovni put rijeke Dunav duljine 137 km klase VI,
- plovni put rijeke Save duljine 446 km klasa II i III,
- plovni put rijeke Drave duljine 200 km klasa II, III i IV i
- plovni put rijeke Kupe duljine 5 km klase III.

**Tablica 1.** Klasifikacija rijeka

**Table 1** Classification of European inland waterways

Klasa	Istisnina (t)	Duljina (m)	Širina (m)	Gaz (m)	Visina (m)
I	300	38.5	5	2.2	3.55
II	600	50	6.6	2.5	4.20
III	1000	67	8.2	2.5	3.95
IV	1350	80	9.5	2.5	4.40
V	2000	95	11.5	2.7	6.70
VI	> 2000	> 95	> 11.5	> 3.0	> 6.70



**Slika 2.** Plovni putovi u Republici Hrvatskoj

**Fig. 2** Waterways in Croatia

Ukupna duljina postojećih plovni putova je oko 800 km, a prema strategiji razvoja unutrašnje plovidbe Republike Hrvatske jedan od važnijih ciljeva je održavanje pouzdane i sigurne plovidbe u skladu s kategorizacijom plovni put.

Plovni putovi u Hrvatskoj su dio europskih plovnih putova koji postaju sve zanimljiviji i iz ekonomskih i ekoloških razloga. Jedan od ciljeva europske komisije je rasterećenje cestovnog prometa povećanom unutrašnjom plovidbom. Uvodi se niz restriktivnih mjera, cestovni promet postaje skuplji te dolazi do većeg korištenja intermodalnog načina prijevoza. Intermodalni način prijevoza je kombinacija cestovnog i riječnog transporta, a posebno se odnosi na prijevoz RO-RO tereta.

Dunav je bio prvi plovni put kojim je plovidba uređena međunarodnim ugovorima još 1856. godine. Danas je plovidba Dunavom regulirana Konvencijom iz 1948. godine. Tim sporazumom su definirana pravila plovidbe i održavanje plovnog puta.

Transport kroz Europu je bio tema nekoliko Pan europskih konferencija na kojima je devedesetih godina prošlog stoljeća definirano 10 glavnih prometnih koridora. Od tog broja 9 koridora je kopnenih, jedan je riječni, a to je koridor VII. Koridor VII predstavlja Dunavski plovni put duljine 2300 km.

Važan transportni put kroz Europu je povezivanje Sjevernog i Crnog mora vodenim putem preko rijeka Dunava i Rajne. Ideja je stara stoljećima, ali se tek nakon Drugog svjetskog rata krenulo u izgradnju složenog sustava koji se zove Europski kanal tj. kanal Rajna-Majna-Dunav. Dovođenjem Europskog kanala ostvaren je 3500 km dugi plovni put od rumunjske luke Constanza do nizozemskog Rotterdama. Maksimalne dimenzije brodova, definirane prema ograničenjima plovnog puta su duljina 185 m, širina 11.4 m, gaz 2.7 m i nosivost 2500 t.

## 2.2. Proizvodni program brodogradilišta

Prikazani su neki od brodova koji bi se mogli graditi i održavati u budućem brodogradilištu. Analizom tržišta i praćenjem želja naručitelja izdvojeni su tipični riječni brodovi te brodovi za otvorenu plovidbu morima. Dimenzije brodova za otvorenu plovidbu su u skladu s ograničenjima plovidbe Dunavom do Crnog mora.

Riječni brodovi koji bi se mogli graditi u brodogradilištu su:

- brodovi za prijevoz općeg tereta/kontejnera koji spadaju u najtraženije brodove radi sve većeg opsega prijevoza kontejnera.

- RO-RO brodovi i barže za prijevoz RO-RO tereta postaju sve traženiji plovni objekti radi većeg udjela transporta takvog tipa tereta

- brodovi tegljači/gurači – iznimno važni brodovi za transport roba baržama

- brodovi za krstarenja – postaju sve zanimljiviji plovni objekti razvojem riječnog turizma.

### Brodovi otvorene plovidbe

U brodogradilištu na Dunavu mogu se graditi brodovi koji će ploviti morima, ali se moraju uzeti u obzir ograničenja plovidbe do Crnog mora. Glavna ograničenja su dimenzije ustava na Đerdapu, a prema njima su definirane maksimalne dimenzije brodova za otvorenu plovidbu. Duljina broda je do 310 m, širina do 34 m, gaz do 2.3 m, visina 9.15 m, a u ovu kategoriju brodova spadaju brodovi za prijevoz rasutog tereta i kontejnera, opskrbeni i ribarski brodovi.

Glavne dimenzije navedenih brodova dane su u tablici 2, a slikama 3 i 4 su prikazani brod za prijevoz općeg tereta i RO-RO barža tipa Europa II.



Slika 3. Brod za prijevoz općeg tereta

Fig 3 General cargo ship



Slika 4. RO-RO barža tipa Europa II

Fig. 4 RO-RO barge – type Europa II

Tablica 2. Glavne dimenzije karakterističnih brodova

Table 2 Characteristic principal dimensions for ships of interest

Tip broda	Istisnina (t)	Duljina (m)	Širina (m)	Masa lakog broda (t)
Brod za prijevoz općeg tereta	2000	95	11.4	1000
RO-RO barža – tip Europa II	1800	80	11.4	500
Brod tegljač / gurač	-	40	13.0	700
Brod za rasuti teret	3000	90	12.5	2000

### 3. Konceptualni projekt riječnog brodogradilišta

U brodogradilištu su predviđena dva programa rada, a to su gradnja novih brodova i remont. U sklopu proizvodnog koncepta definirana je gradnja brodova na ravnoj površini metodom sastavljanja modula i blokova te poslovni model novog pogona. Poslovni model je montažno brodogradilište čije su značajke:

- gradnja nestandardnih plovila

- proizvodni program se svodi na projekte izrađene prema želji kupca

- proizvodna djelatnost brodogradilišta u pravilu se ograničava na montažu trupa kao temeljnu aktivnost

- pojedine dijelove proizvodnog procesa izvođe supkontraktori koji za ugovorenu funkciju ili prostornu cjelinu novogradnje sudjeluju u definiciji projekta, te isporučuju i ugrađuju sve potrebne dijelove i testiraju njihovu pogonsku sposobnost u opsegu po načelu 'ključ u ruke'

- vlastiti kapaciteti za izgradnju trupa broda fleksibilno se prilagođavaju potrebama angažiranjem dopunskog broja radnika

Montažno brodogradilište se oslanja na prateću industriju i proizvodne kapacitete u okolini. U sklopu ovog projekta analizirane su tvrtke i njihovi kapaciteti unutar Vukovarsko – srijemske županije i okolnih županija Osječko – baranjske i Brodsko – posavske. U promatranoj regiji postoje tvrtke koje bi mogle raditi na poslovima obrade materijala i izrade brodske opreme. Brodogradilište bi se orijentiralo na sastavljanje podsklopova i sklopova, sastavljanje, opremanje i antikorozivnu zaštitu sekcija, montažu i opremanje trupa i opreme te

na finalizaciju, ispitivanje i primopredaju finalnog proizvoda. Kod ovakvog načina poslovanja važan aspekt predstavljaju troškovi transporta materijala i opreme, pa su analizirani mogući transportni putevi između dobavljača i novog brodogradilišta. Zaključak je da su transportne veze dobre te da ih je moguće ostvariti svim vidovima transporta od cestovnog, željezničkog do riječnog.

Jedan od osnovnih koraka u osnivanju brodogradilišta na Dunavu je definiranje lokacije. Lokacija mora zadovoljavati niz kriterija, a to su:

- blizina prometnica (ceste, pruge) radi lakšeg transporta materijala i opreme,
- blizina većeg mjesta radi angažiranja većeg broja djelatnika i nužne energetike,
- dovoljna tlocrtna površina brodogradilišta za smještaj svih radnih površina i eventualna proširenja u slučaju potrebe.

Kod izbora lokacije razmatrane su tri mogućnosti u regiji i to u blizini Iloka, Erduta i Vukovara. Nedostaci lokacija kod Iloka i Erduta su slaba prometna povezanost te nedostatak kadrova traženih zanimanja. Izabrana lokacija, označena strjelicom na slici 5, udaljena je 3 km od Vukovara u jednom rukavcu rijeke Dunav. Otežavajuća okolnost kod projektiranja brodogradilišta na rijekama može biti velika razlika niskog i visokog vodostaja. Na Dunavu razlika može biti i do 8m što je ustanovljeno analizom mjernih rezultata vodostaja. Pri tome, je nužno da radna površina brodogradilišta bude iznad najvišeg vodostaja kako ne bi došlo do naplavlivanja. Velika razlika vodostaja zahtjeva veliku duljinu navoza s obzirom na nagib koji može biti između 5 i 15°.

Proizvodni proces brodogradilišta većim dijelom je organiziran kao intermitentni obzirom na različitost proizvoda i različito trajanje pojedinih tehnoloških operacija. U nekim dijelovima kao što su predmontaža podsklopova i sklopova proces se može organizirati kao ponavljajući korištenjem specijalnih proizvodnih linija.



**Slika 5.** Lokacija brodogradilišta na Dunavu

**Fig. 5** The location of the shipyard on Danube



Riječni brodovi konstrukcijski nisu prezahtjevniji. Uglavnom se radi o ravnoj strukturi u kojoj se može izdvojiti veliki broj kutijastih sekcija, ukrijepljenih panela i ravnih podsklopova.

Obzirom na postojeće kapacitete tvrtki u okruženju u brodogradilištu su predviđeni podproces:

- skladište obrađenog materijala i opreme,
- predmontaža podsklopova,
- predmontaža sklopova,
- predmontaža i opremanje sekcija, blokova i modula,
- antikorozivna zaštita sekcija, blokova i modula,
- montaža i opremanje trupa i
- predaja broda vodi.

Raspored radnih prostora napravljen je prema pretpostavljenom godišnjem proizvodnom programu brodogradilišta u kojem bi se gradilo 6 brodova, a to su:

- 1 brod za prijevoz općeg tereta,
- 2 barže tipa Europa II,
- 2 broda tegljača/gurača i
- 1 brod za prijevoz rasutog tereta.

Predviđen je tzv. Production mix kakav se očekuje u brodogradilištu. Procijenjena godišnja količina crne metalurgije za pretpostavljeni proizvodni program je 5000 t. Ukupna količina crne metalurgije u brodogradilištu se procjenjuje na 7000 t kada se uzme u obzir količina materijala za remont brodova.

Prema definiranom proizvodnom programu napravljena je približna raščlana brodova kako bi se procijenila opterećenja svih faza proizvodnog procesa te napravila usporedba s kapacitetima tj. s mogućnostima raspoloživog radnog prostora i tehnološke opreme.

Rezultati analize proizvoda brodova iz proizvodnog programa prikazani su u tablicama 3 i 4 gdje su dane količine i prosječna masa modula, količine i prosječna masa sekcije, te broj panela, sklopova i podsklopova. U tablicama su dani okvirni podaci, a za detaljniji proračun potrebno je detaljnije analizirati strukturu trupa i opremu brodova.

Ulazni podaci za analizu proizvoda uzeti su za brodove iz tablice 2. Prema glavnim dimenzijama karakterističnih brodova moguća je podjela trupa na module tj. dijelove broda ukupne širine i visine te ograničene duljine. Duljina modula je 10 m, a određena je duljinom limova strukture. Dimenzije karakterističnog modula su: duljina 10 m, širina 11.4 m, visina i masa ovisi o tipu broda. Visina modula može biti od 3 do 6 m, a masa od 50 do 100 t.

Moduli se sastoje od 3-5 volumenskih sekcija koje mogu biti sekcije dvodna, dvoboka, pregrada i paluba. Dimenzije sekcija su: duljina 10m, širina od 3 do 11m, visina do 1.5 m, a prosječna masa od 20 do 40 t.

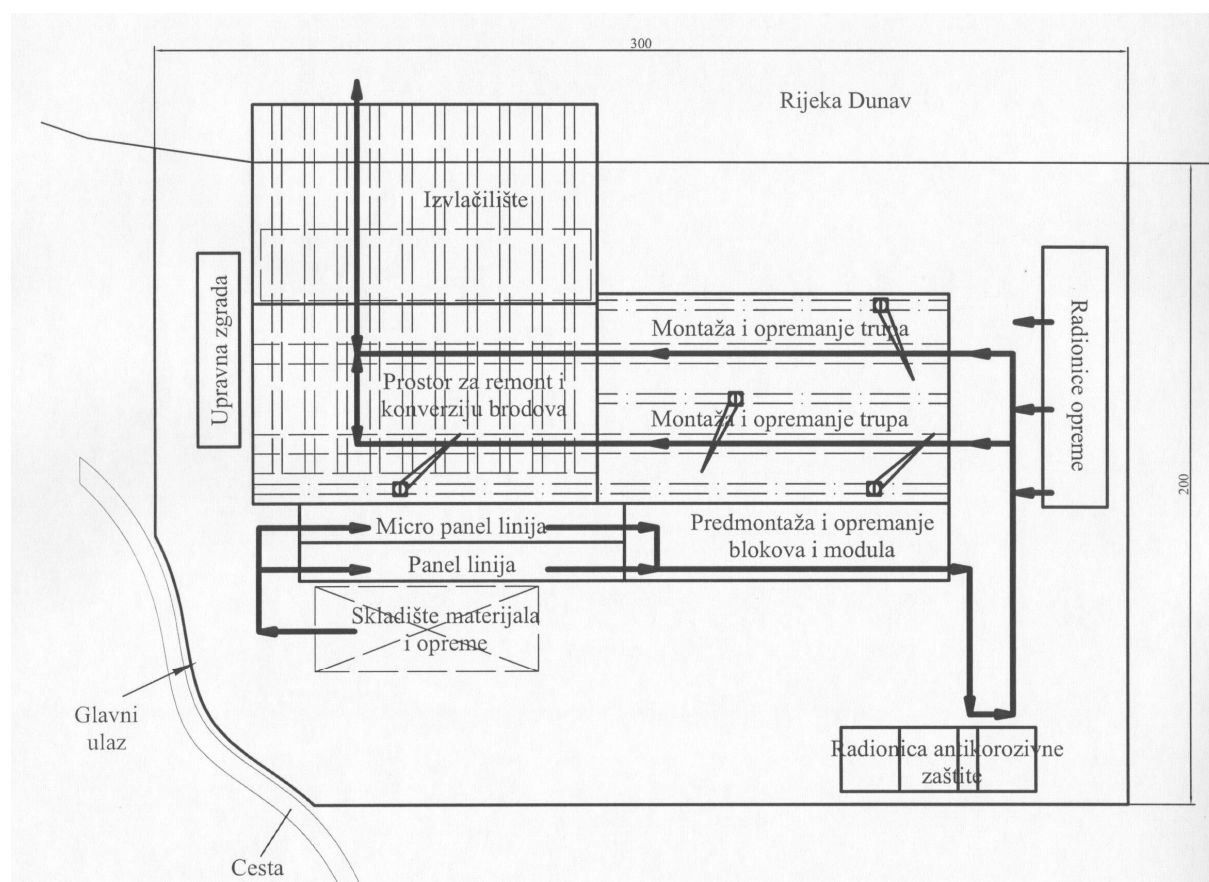
Ukrijepljeni paneli se nalaze u strukturama sekcija dvodna, dvoboka i paluba, a njihove dimenzije su 10×11.4 m. Karakteristični sklopovi su dijelovi pregrada te unutrašnje i vanjske oplata manjih brodova dimenzija 3×10 m. U podsklopove spadaju uzdužni nosači dvodna, rebrenice, proveze ili sastavljeni T nosači dimenzija 1×10 m.

**Tablica 3.** Analiza proizvoda – količina i masa modula i sekcija**Table 3** Product analysis – quantities and masses of modules and sections

Tip broda	Godišnji broj brodova	Procijenjeni broj modula	Prosječna masa modula (t)	Procijenjeni broj sekcija	Prosječna masa sekcije (t)
Brod za prijevoz općeg tereta	1	10	100	45	25
RO-RO barža – tip Europa II	2	16	65	64	20
Brod tegljač / gurač	2	12	85	36	30
Brod za rasuti teret	1	12	180	50	40
Ukupno	6	50		200	

**Tablica 4.** Analiza proizvoda – količina panela, sklopova i podsklopova**Table 4** Product analysis – quantities of stiffened panels, units and subassemblies

Tip broda	Broj ukrijepljenih panela	Broj sklopova	Broj podsklopova
Brod za prijevoz općeg tereta	30	50	120
RO-RO barža – tip Europa II	50	30	180
Brod tegljač / gurač	30	20	100
Brod za rasuti teret	50	50	200
Ukupno	160	150	600

**Slika 5.** Raspored radnih površina i tokovi materijala**Fig. 5** The arrangement of working areas and material flows

Raspored radnih površina i tokovi materijala prikazani su slikom 5. Obradeni materijal i oprema dolazi na prostor skladišta odakle ide u proizvodni proces. Limovi i profili se transportiraju na linije za proizvodnju podsklopova i ukrijepljenih panela. Rad linija je koncipiran po principima taktne proizvodnje, a nalaze se u radionici dimenzija 90×24m. Podsklopovi se izrađuju na automatiziranoj liniji s 5 radnih stanica na kojima se pozicioniraju, privaruju i zavaruju ukrepe. Kapacitet proizvodne linije je 4 podsklopa dnevno.

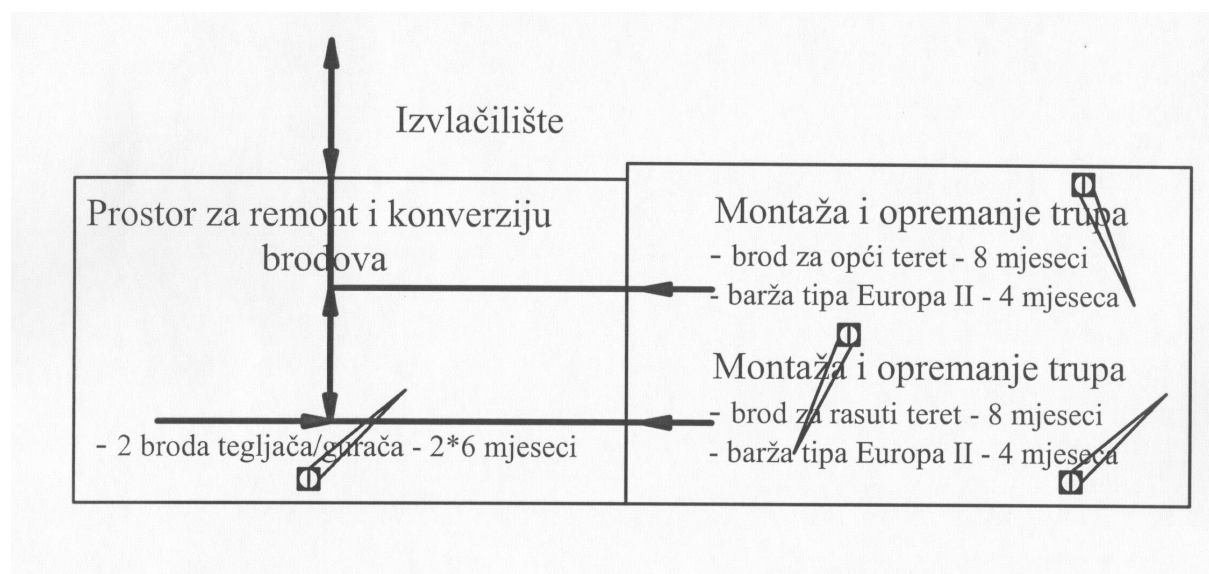
Ukrijepljeni paneli se izrađuju na automatiziranoj liniji s 3 takta, a kapacitet proizvodne linije je 2 panela dnevno.

Blokovi i moduli sastavljaju se unutar predmontažne hale dimenzija 100×24m. U hali su predviđeni prostori međuskladišta elemenata, podsklopova i sklopova te 4 radne platforme za kompletiranje strukture i uranjeno opremanje sekcija, blokova i modula. Prosječno trajanje sastavljanja strukture sekcija i modula te njihovog opremanja je 15 radnih dana. U hali se transport obavlja mosnim dizalicama nosivosti 75t.

Nakon predmontaže i uranjenog opremanja blokovi i moduli idu u radionice antikorozivne zaštite. Predviđene su 3 hale, od toga je jedna za čišćenje i dvije za bojanje. Dimenzije jedne hale je 15×15 m, a ukupna površina postrojenja je 50×15 m. Trajanje čišćenja i bojanja jednog modula procijenjen je na 7 radnih dana. Istovremeno se bojaju i suše 2 modula, bloka ili sekcije. Transport blokova i modula obavlja se parternim sredstvima.

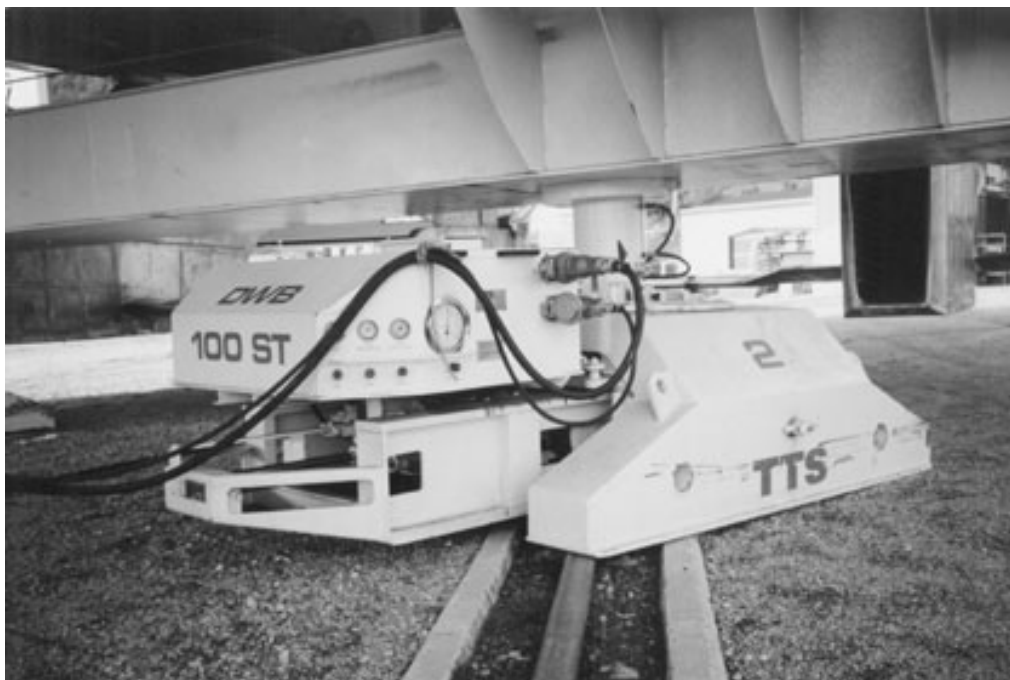
Nakon antikorozivne zaštite blokovi i moduli se transportiraju na prostor montaže. Prostor površine 200×65 m podijeljen je na prostore za remont i za montažu trupa. Prostor za remont nalazi se u produžetku prostora za izvlačenje brodova. Na njemu bi se organizirao istovremeni remont 2 do 3 objekta. Prostor za montažu se nalazi pored, a predviđen je za istovremeni rad na dvije novogradnje. Opremljen je dizalicama nosivosti 100 t.

Organizacija radnog prostora montaže i remonta prikazana je slikom 6. Na prostoru za montažu grade se brodovi za opći teret i za rasuti teret te barže tipa Europa II. Brodovi su prema strukturi i opremi zahtjevniji od barži i za njih se predviđa trajanje montaže i opremanja od 8 mjeseci, a za barže 4 mjeseca. Brodovi gurači/tegljači se grade na prostoru remonta brodova, a predviđa se trajanje montaže i opremanja od 6 mjeseci.



Slika 6. Shema organizacije radnog prostora montaže i remonta

Fig. 6 Organizational schema and material flows on areas of hull assembly and ship repair



Slika 7. Transporter za teške terete

Fig. 7 Heavy load transporter

Kod ovako organiziranih radnih prostora važan je transport, jer se objekti moraju rasporediti na više radnih mjesta u uzdužnom i poprečnom smjeru. Za transport se koriste transporteri za teške terete - uređaji sa hidrauličkim podizačima za podizanje i spuštanje brodova prikazanih slikom 7.

Usporedba opterećenja i kapaciteta radnih prostora i tehnološke opreme prikazana je u tablici 5. Podaci o opterećenju se nalaze u tablicama 3 i 4, a kapaciteti su procijenjeni za pojedini radni prostor i tehnološku opremu. Usporedba je napravljena tako da se za svaku proizvodnu fazu ili liniju proračuna prema opterećenju ukupno vrijeme izrade te usporedi s fondom vremena. U zadnjem stupcu tablice je postotak iskorištenog vremena.

Tablica 5. Usporedba opterećenja i kapaciteta proizvodnih faza i tehnološke opreme

Table 5 Comparison of the production phases loads and capacities

Naziv proizvodne faze i tehnološke opreme	Opterećenje	Kapacitet	Ukupno vrijeme izrade (d)	Raspoloživi broj radnih dana (d)	Postotak korisnog vremena
(1)	(2)	(3)	(4)=(2)/(3)	(5)	(6)=(4)/(5)
Predmontaža podsklopova - mikropanel linija	600 podskl.	4 podsk/dan	150	250	60%
Predmontaža sklopova - panel linija	310 panela	2 pan/dan	155	250	62%
Predmontaža sekcija i modula	70	2 mod/tjed	245	250	98%
Antikorozivna zaštita sekcija i modula	70	2 mod/tjed	245	250	98%
Montaža trupa	6		250	250	100%



**Slika 8.** Slipni uređaj za transport i predaju broda vodi

**Fig. 8** Vecihles for ship loading/launching

Usporedbom opterećenja i kapaciteta proizvodnih faza i tehnološke opreme zaključuje se da su opterećenja faza predmontaže i antikorozivne zaštite sekcija i modula te montaže trupa u skladu s kapacitetima, a da višak kapaciteta postoji u fazama predmontaže podsklopova i sklopova. Višak kapaciteta se može koristiti za potrebe remonta brodova.

Predaja broda vodi može se obaviti na nekoliko načina i to slipnim uređajem, prevodnicama ili synchroliftom. U članku su prikazana iskustva rada na projektu izvlačilišta brodova u Galdovu u blizini Siska na rijeci Savi [6], [7] gdje se koristi slipni uređaj. Sustav, prikazan slikom 8, sastoji se od dva niza kolica. Jedna se gibaju po kosini, a služe za transport brodova u vodu i izvlačenje brodova do radne površine. Druga kolica služe za transport objekata na radnoj površini u uzdužnom smjeru.

Približna procjena glavnih investicijskih troškova predloženog rješenja dana je u tablici 6. Osnovne grupe troškova su troškovi građevinskih radova i potrebne tehnološke opreme. U troškove građevinskih radova spada betoniranje radnih površina i transportnih putova postavljanje energetskih kanala i tračnica dizalica, izgradnja radionica te izgradnja izvlačilišta. Troškove tehnološke opreme čine mikro panel linija, panel linija, transportna sredstva (dizalice i parterni transport), strojevi i uređaji predmontažnih radionica i radionica opreme, postrojenje za antikorozivnu zaštitu te kolica za transport brodova i njihovo izvlačenje ili porinuće.

Troškovi građevinskih radova su procijenjeni na 13.300.000 €, a troškovi potrebne tehnološke opreme na 11.700.000 €. Ukupna investicija projekta procijenjena je na 25.000.000 €.

Rad na konceptualnom projektu brodogradilišta na Dunavu se oslanja na podršku Hrvatskog klastera brodogradnje u području riječne brodogradnje u kontinentalnom dijelu Hrvatske [8].

**Tablica 6.** Procjena investicijskih troškova projekta**Table 6** The prediction of the project investment costs

Naziv stavke	Procjena investicije (€)
1) Građevinski radovi	
Betoniranje radnih prostora i transportnih putova površine 50000 m <sup>2</sup>	1.500.000
Postavljanje energetskih kanala duljine 1000 m	400.000
Izgradnja radionica predmontaže i opreme površine 6400 m <sup>2</sup>	2.200.000
Izgradnja i opremanje radionica antikoroziivne zaštite	3.000.000
Postavljanje tračnica mosnih dizalica duljine 250 m	200.000
Izgradnja zgrade uprave i administracije površine 2000 m <sup>2</sup>	600.000
Postavljanje tračnica vanjskih dizalica duljine 800 m	400.000
Postavljanje tračnica na razvlačilištu duljine 3000 m	1.000.000
Izgradnja izvlačilišta i iskopi na području izvlačilišta	4.000.000
Ukupno	13.300.000
2) Tehnološka oprema	
Mikro panel linija	1.000.000
Panel linija	3.000.000
Portalna dizalica na skladištu obrađenog materijala - nosivost 10 t; raspon 30m; 1 kom.	200.000
Mosne dizalice u radionici predmontaže - nosivost 75 t; raspon 24 m; 3 kom.	600.000
Parterni transporter CAMAG - nosivost 100 t; 3 kom.	600.000
Dizalice na prostoru montaže i remonta - nosivost 100 t; 4kom.	800.000
Transporter za teške terete Nosivost 2000 t; 2 kom.	700.000
Kolica za izvlačenje i porinuće brodova	100.000
Strojevi i uređaji predmontažnih radionica i radionica opreme	3.000.000
Energetska oprema brodogradilišta	1.700.000
Ukupno	11.700.000
Ukupna investicija brodogradilišta 1)+2)	25.000.000

#### 4. Zaključak

U članku je prikazan konceptualni projekt brodogradilišta na Dunavu. Projektiranje tako složenog proizvodnog sustava je iterativni postupak koji se provodi u nekoliko koraka po projektnoj spirali.

Za ovu fazu projekta definiran je proizvodni koncept gradnje i remonta brodova na ravnoj površini metodom sastavljanja modula i blokova. Model poslovanja je montažno brodogradilište koje se može osloniti na kapacitete tvrtki u okolini za poslove obrade materijala i izrade brodske opreme. U proizvodni program spadaju riječni brodovi i brodovi za otvorenu plovidbu morima. Proizvodni proces je projektiran većim dijelom kao intermitentni obzirom na različitost proizvoda i različito trajanje radnih operacija. Raspored radnih prostora i tokovi materijala definirani su za gradnju 6 brodova godišnje i ukupnu količinu od 7000 t crne metalurgije. Investicija u projekt brodogradilišta je procijenjena na 25.000.000 eura, a obuhvaća troškove građevinskih radova i potrebne tehnološke opreme. Također u radu su prikazani rezultati analize izbora lokacije, a prema postavljenim kriterijima izabrana je lokacija u blizini Vukovara.

Obzirom na revitalizaciju prometa roba rijekama, razvoj riječnog turizma te strategiju razvoja unutrašnje plovidbe u Republici Hrvatskoj nužno je obnavljanje luka i plovni putova, te remont i gradnja novih brodova što nužno dovodi do potrebe osnivanja takvog centra na Dunavu.

Predloženi konceptualni projekt fleksibilnog montažnog brodogradilišta ujedno je prilog studiji izvedivosti ovako kompleksnog sustava u složenim društvenim i gospodarskim okolnostima.

#### LITERATURA

- [1] Ž. Sladoljev: Organizacija i poslovanje brodogradilišta, skripta, FSB, Zagreb 1996.
- [2] Ž. Sladoljev: Tehnologija gradnje plovni objekata, skripta, FSB, Zagreb 1987.
- [3] B. Ljubenković: Upravljanje gradnjom samopodizne platforme simulacijskim metodama, magistarski rad, FSB, Zagreb 2002.
- [4] M. Mihailović: Osnivanje montažnog brodogradilišta na obali Dunava, diplomski rad, FSB, Zagreb, 2008.
- [5] T. Uroda, K. Žiha, N. Brnardić, P. Pekas: Feasibility study on docking using laid-up vessels, European Inland Waterway Navigation Conference EIWN, Budimpešta, 2001.
- [6] K. Žiha, N. Brnardić, T. Zaplatić, P. Pekas, I. Bilić-Prcić, T. Uroda: Conceptual Design of a New Shipyard on River Sava, European Inland Waterway Navigation Conference EIWN, Gyor, 2003.
- [7] N. Brnardić, P. Pekas, I. Bilić-Prcić, K. Žiha, T. Zaplatić, T. Uroda: 'New shipping way on river Sava', Proceedings of 16. Symposium Theory and Practice of Shipbuilding, Plitvice, Croatia, 2004.
- [8] G. Krpanec, K. Žiha, B. Ljubenković: Foundation of Croatian Inland Navigation and Shipbuilding Cluster, European Inland Waterway Navigation Conference EIWN, Visegrad, Hungary, 2007.